Revue Ecosystèmes et Paysages, 2024, 4 (1) : 1-20
https://lbev-univlome.com/revue-ecosysteme-et-paysage/
ISSN Online: 2790-3230

Analyse spatio-temporelle de l'utilisation des unités d'occupation du sol de 1990-2020 à l'Ouest du Burkina Faso

Spatio-temporal analysis of the use of land units from 1990-2020 in western Burkina Faso

Koueta T. Roland[1*], Nakoulma Goama[1,2], Gomgnimbou P.K. Alain[3], Dao A. Zezouma[4], Guelbeogo Sidiki[5]

[1]Laboratoire Dynamiques des Espaces et Sociétés/Département de Géographie, Université Joseph KI-ZERBO, 01 BP 85, Ouagadougou 01, Burkina Faso
[1,2]Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés, Institut des Sciences des Sociétés, Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technologique, 01 BP 85, Ouagadougou 01, Burkina Faso, ngoama@yahoo.fr
[3]Laboratoire Sol-Eau-Plante, Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole, Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technologique, BP 910, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
[4]Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée, Sciences Biologiques Appliquées, Université Joseph KI-ZERBO, 01 BP 85, Ouagadougou 01, Burkina Faso
[5]Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Milieux et Territoires, Département de Géographie, Université Joseph KI-ZERBO, 01 BP 85, Ouagadougou 01, Burkina Faso

Auteur correspondant : Koueta T. Roland1**,** E-mail : tererolandkoueta@gmail.com

ORCDI des auteurs
Koueta T. Roland : https://orcid.org/0009-0002-0118-8036

Comment citer l'article : Koueta T. Roland, Nakoulma Goama, Gomgnimbou P.K. Alain, Dao A. Zezouma , Guelbeogo Sidiki (2024). Analyse spatio-temporelle de l'utilisation des unités au sol de 1990-2020 à l'ouest du Burkina Faso. Revue Écosystèmes et Paysages (Togo), 4(1) : 1 –20, e-ISSN (Online) : 2790-3230
Doi ; https://doi.org/10.59384/recopays.tg4103

Reçu : 1 mars 2024
Accepté : 15 juin 2024
Publié : 30 juin 2024



Résumé

Le paysage agraire à l'ouest du Burkina Faso connait ces dernières décennies une dynamique spatio-temporelle importante suite à l'augmentation de la population et au développement de nombreuses activités socio-économiques. Entre 1990 et 2020, la dynamique de certaines unités au sol s'est opérée au détriment d'autres, subissant ainsi des pertes plus ou moins importantes de leur superficie. L'objectif de cette recherche est d'appréhender les différentes modifications paysagères qui se sont opérées au cours de la période 1990-2020 dans la commune de Bobo-Dioulasso. Pour ce faire, des images Landsat de résolution spatiale 30 m et la méthode de classification supervisée via l'algorithme du maximum de vraisemblance ont été utilisés. Les logiciels Envi 5.3, ArcGIS 10.8 et Excel 2019 ont servi pour le traitement des données géospatiales et les taux moyens d'évolution des unités ainsi que les matrices de transition ont permis d'analyser les différents changements d'unités au sol. Les forêts-galeries, les plans d'eau, les plantations forestières, les savanes arborées, les savanes arbustives ont connu une évolution régressive au profit des cultures irriguées, des parcs agroforestiers, des sols nus, du tissu urbain, des vergers et des zones humides. L'expansion la plus élevée (12,67%) a été obtenue sur les sols nus, tandis que l'expansion la plus faible (-41,56%) a été obtenue sur les forêts-galeries. Dans une perspective proche, l'analyse des modèles sophistiqués de l'occupation des sols pourrait être développée pour prédire les changements d'utilisation des sols d'ici à 2050, en tenant compte de l'augmentation des savanes, des plantations agroforestières, des parcs agroforestiers, des vergers et des habitats. Cela permettra aux acteurs de développement rural de tenir compte désormais de ces facteurs lorsqu'ils élaborent des stratégies d'aménagement et de gestion durable des terres dans la commune..

Mots clé : Analyse spatio-temporelle-Utilisation des unités au sol et Burkina Faso

Abstract

In recent decades, the agrarian landscape in western Burkina Faso has undergone significant spatiotemporal dynamics as a result of population growth and the development of numerous socio-economic activities. Between 1990 and 2020, the dynamics of certain land units were to the detriment of others, which suffered more or less significant losses in surface area. The aim of this research is to understand the various landscape changes that have taken place over the period 1990-2020 in the Bobo-Dioulasso municipality. To achieve this, Landsat images with a spatial resolution of 30 m and the supervised classification method using the maximum likelihood algorithm were used. Envi 5.3, ArcGIS 10.8 and Excel 2016 software were used to process the geospatial data, and the average rates of change of units and transition matrices were used to analyse the various changes in ground units. Gallery forests, water bodies, forest plantations, tree savannahs and shrub savannahs underwent a regressive evolution in favour of irrigated crops, agroforestry parks, bare soil, urban fabric, orchards and wetlands. The highest expansion (12.67%) was in bare soil, while the lowest expansion (-41.56%) was in gallery forests. In the near future, the analysis of sophisticated land use models could be developed to predict land use changes between now and 2050, taking into account the increase in savannahs, agroforestry plantations, agroforestry parks, orchards and habitats. This will enable rural development stakeholders to take these factors into account when devising strategies for sustainable land use and management in the commune.

Key words: Spatio-temporal analysis-Use of soil units and Burkina Faso

1. Introduction

Renouant avec une tradition initiée par Paul Vidal de la Blache, les descriptions de paysages et l'analyse minutieuse des milieux naturels ou non naturels ont toujours été bien placées pour comprendre l'évolution spatiale et temporelle des phénomènes géographiques (Bertrand et Dollfus, 1973). En effet, les paysages ruraux et urbains de la région du Sahel ont subi des changements importants au cours des dernières décennies en raison de la croissance démographique et de l'évolution des facteurs socio-économiques, entraînant une demande accrue de terres arables au détriment des formations naturelles qui font place à des paysages de plus en plus anthropisés (Liehoun-Botoni et al., 2003 ; Mama et al., 2013). Cela entraine une dynamique de la structure spatiale des paysages. Selon Hountondji (2008), en Afrique de l'Ouest, les principales perturbations des écosystèmes qui contribuent à la modification des paysages sont la déforestation, la dégradation des sols, la pollution par des pesticides chimiques et l'eutrophisation due à l'apport d'engrais. Ces perturbations mettent en jeu de nombreux facteurs ; qu'un seul soit défaillant ou mouvant, et c'est tout le paysage qui se transforme (Tatar, 2013). De plus, les changements dans l'utilisation des terres sont bien connus, mais leur ampleur varie en fonction du type de pression et des conditions écologiques et environnementales (Hoang et al. 2009). Ces changements s'opèrent dans l'espace physique et dans les manifestations sociales des populations de manière synchrone ou isolée, visible ou invisible à des échelles spatio-temporelles variables (Guittet et Le Dû-Blayo, 2013; Folega et al. 2023). Ainsi, des activités telles que les défrichements agricoles ou sylvicoles ont modifié la répartition des communautés végétales, affectant indirectement les déplacements et la survie des espèces (Le Drezen et Ballouche, 2009; Davranche et Taïbi, 2015). De nombreuses études ont révélé que les systèmes agroforestiers, particulièrement les parcs agroforestiers, connaissent les plus grandes évolutions (Hountondji, 2008; Zida, 2020) dans la région soudano-sahélienne, au détriment des espaces savanicoles. Cela est vrai à l'ouest du Burkina, particulièrement dans la commune de Bobo-Dioulasso, qui a été fortement affectée par les changements d'affectation des sols au cours des dernières décennies. Les résultats des recherches de Millogo et al. (2018) montrent que la végétation dans la zone de Bobo-Dioulasso a diminué de 385 hectares entre 1982 et 1995 tandis que le système de parcs agroforestiers a augmenté au cours de la même période. Leurs résultats ont également révélé qu'entre 1995 et 2008, les savanes claires ont connu une augmentation et les zones cultivées une régression, à la suite d'une reprise de la végétation qui a été observée dans les zones aménagées par les techniques de conservation des eaux et des sols (CES). La mutation continue de ces unités paysagères entraîne une restructuration du paysage géographique à différentes échelles de temps. Dans ce contexte, il est important de s'intéresser à leurs évolutions spatio-temporelles pour mieux comprendre la dynamique de chaque unité. Cet article s'inscrit dans cette logique et vise à explorer l'utilisation de l'analyse de l'occupation spatiale à travers l'approche cartographique pour comprendre l'évolution du paysage de Bobo-Dioulasso, une commune du Burkina Faso, de 1990 à 2020. Cela permettra de tenir compte de certaines variables dans le cadre d'un éventuel aménagement du territoire.

2. Matériel et Méthode

2.1 Description du milieu d'étude

Située au sud-ouest du Burkina Faso, la commune de Bobo-Dioulasso est une commune occupant une position particulière dans la province du Houet et la région des Hauts-Bassins. Elle a une superficie de 1 600 km^2. C'est la capitale de la province et la capitale économique du pays, située à environ 365 km de la capitale politique Ouagadougou. Elle est distante de 548 km de la frontière malienne et est localisée entre le 11°11'00''N et le 4°17'00''W (Figure 1).

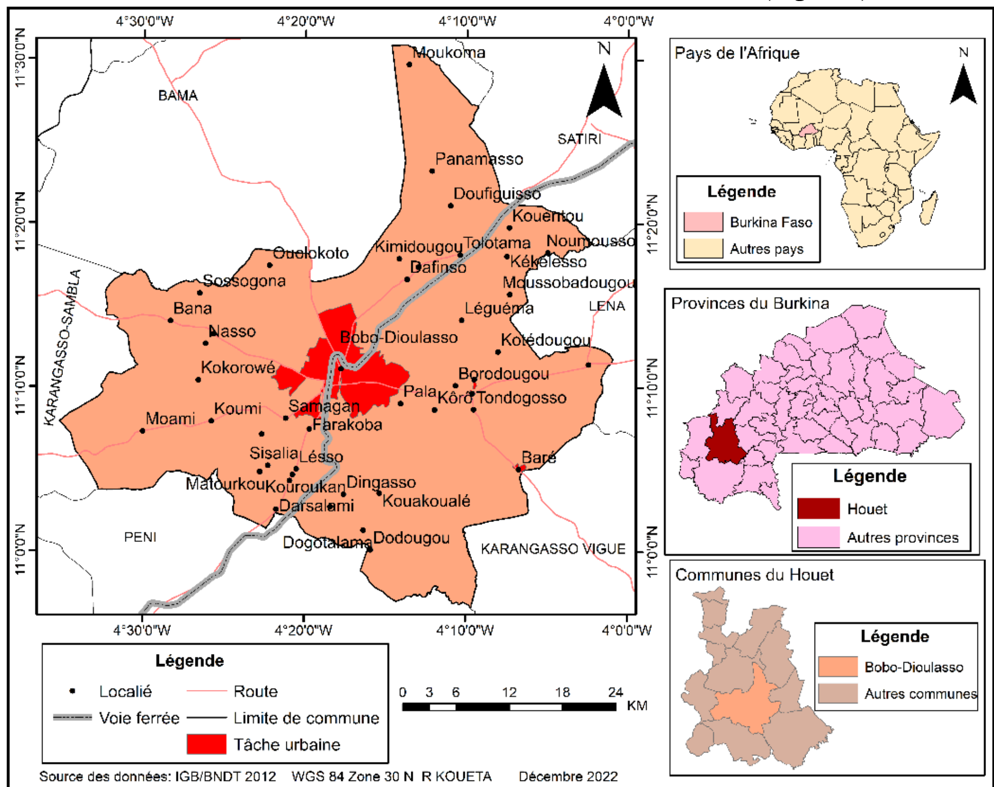


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

La commune de Bobo-Dioulasso compte 7 arrondissements, dont 33 secteurs, et 36 villages reliés. Grâce à sa situation centrale au carrefour des routes reliant le Maghreb aux portes de l'Atlantique, son développement témoigne de son passé florissant dans les domaines de la culture, de la religion et du commerce. La population de la commune était estimée à 1 510 638 habitants en 2019 (INSD, 2022). Son climat est soudano-sahélien, avec des rythmes saisonniers influencés par le mouvement du Front Inter-tropical. La pluviométrie annuelle moyenne oscille entre 900 mm et 1200 mm d'eau par an. Les sols sont ferrugineux tropicaux sur des dépôts argilosableux. Au niveau de la végétation, elle est constituée de savanes (des arbres aux arbustes) avec quelques forêts-galeries, abritant une faune diversifiée. La culture du coton et du maïs est très développée et confère à la zone un contexte socio-économique dynamique. Les ressources en eau sont plus ou moins abondantes.

2.2. Collecte des données

2.2.1. Données satellitaires

Les différentes analyses proviennent de l'utilisation de trois types d'images satellites : Landsat Thematic Mapper (TM) de 1990, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) de 2000 et 2010 et Operational Land Imager Thermal and Infrared Sensor (OLI_TIRS) de 2020. Ils ont été obtenus gratuitement auprès du Ministère de l'Environnement, de l'Économie verte et du Changement climatique (MEEVCC) du Burkina Faso, téléchargeables sur le site Internet de la NASA (www.earthesplorer.usgs.gov).

2.2.2. Caractéristiques des images satellitaires

Les caractéristiques des images satellitaires collectées sont consignées dans le Tableau 1. Pour chaque date, deux images ont été retenues en fonction de leur qualité avec une image par scène.

Tableau 1. Caractéristiques des scènes des images satellitaires

Zone d'étude	Dates	Type de senseur	Type de satellite	Zone de fausse (Path/Row)	Résolution (m^2)
Commune de Bobo-Dioulasso	16/11/1990 et 30/11/1990	Landsat 5	TM	196052 /197052	30
	12/12/2000 et 25/10/2000	Landsat 7	ETM+	196052 /197052	30

20/11/2010 et 30/11/2010	Landsat 7	TM	196052 /197052	30
15/11/2020 et 26/10/2020	Landsat 8	OLI_TIRS	196052 /197052	30

Source : Image Landsat TM, ETM+ et OLI-TIRS

2.3. Méthodes de traitement des données

2.3.1. Prétraitements des images :

Les prétraitements regroupent toutes les opérations réalisées dans le but de rendre l'image lisible et superposable. Celles-ci incluent des corrections géométriques, radiométriques et atmosphériques, la superposition ou le regroupement de bandes, et l'extraction de la zone d'étude. Pour cette étude, des innovations radiométriques ont été appliquées pour augmenter la lisibilité des images et faciliter leur interprétation. Elles sont suivies d'opérations de géoréférencement dans le référentiel UTM WGS-84 – Zone 30 Nord.

2.3.2. Mosaïquage des images

Le « layer stacking » est effectué avant la composition de l'image et permet de regrouper différentes bandes d'une image pour former un bloc de plusieurs bandes de même résolution et de même capacité. La mosaïque a consisté à assembler différentes bandes de scènes similaires (196052 et 197052) pour former une image plus grande couvrant la zone d'étude (Wiederkehr , 2012). Le processus de mosaïquage, réalisée à l'aide de l'outil « Subset data over ROI » du logiciel ENVI 5.3, a permis d'obtenir des images ne couvrant que la zone d'étude. Les images ci-dessous montrent différentes scènes de mosaïque (Figure 2).

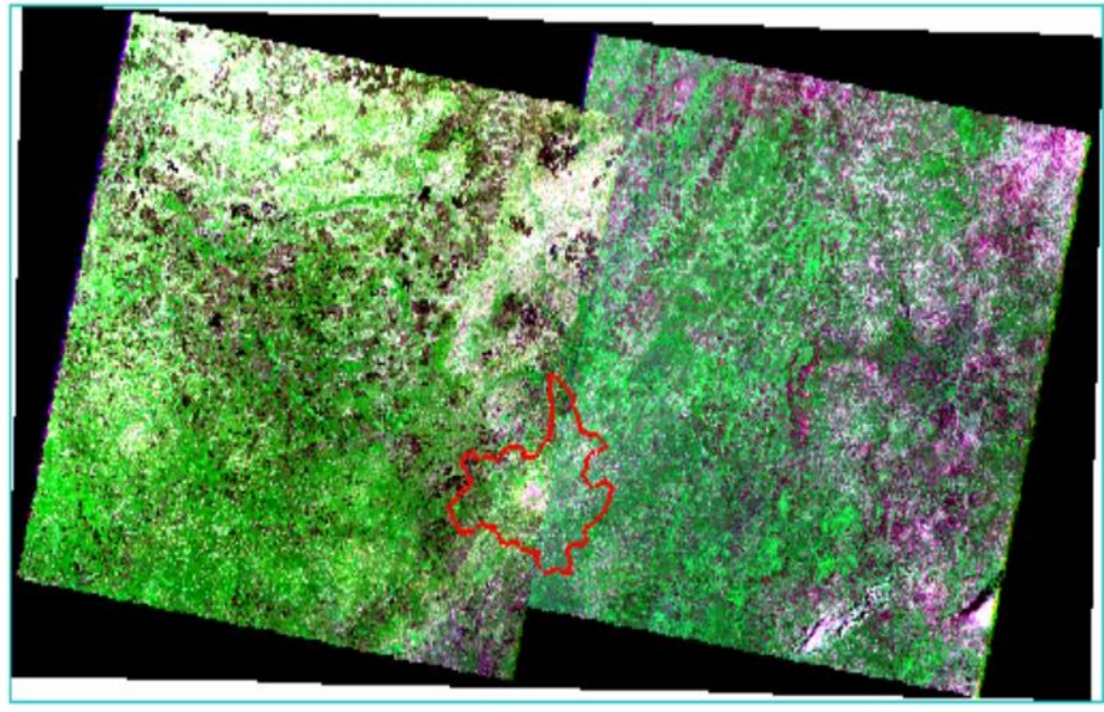


Figure 2 : Délimitation de la zone d'étude sur l'image satellitaire

Source : Image Landsat OLI-TIRS 2020

2.3.3. Confirmation de la classification des images

La validation des performances de classification a été réalisée à l'aide de quatre matrices de confusion comparant les classes thématiques obtenues numériquement et les données de référence collectées sur le terrain. Plusieurs facteurs, notamment l'interprétation visuelle de la disposition des couleurs des images, les normes, les images Google earth, ainsi que diverses missions de terrain, ont été déterminants, notamment pour les images 2020 pour éditer et valider les classements supervisés. La précision globale obtenue est de 97,30 % avec un coefficient Kappa de 0,97 pour les images de 1990, alors qu'elle est de 96,65 % pour celle de 2000 avec des coefficients Kappa de 0,96 %. Pour les images de 2010, la précision est de 97,8 % pour un indice Kappa de 0,98 et de 98,9 % avec un indice Kappa de 0,98 pour les images de 2020. Les logiciels ENVI 5.3 et ArcGIS 10.8 ont été utilisés respectivement pour le traitement des images et la création d'un système d'information géographique (SIG). Le GPS Garmin 64 SX a été utilisé pour identifier les terrains d'entraînement pour entraîner l'algorithme de classification.

2.3.4. Classification des images

La disposition des couleurs a été créée en combinant 4 canaux pour l'infrarouge [0,75-0,90 µm], 3 pour le rouge [0,63-0,69 µm] et 2 pour le vert [0,520,60 µm] pour les images 1990, 2000, 2010 ; et canaux 5 pour l'infrarouge [0,75-0,90 µm], 4 pour le rouge [0,63-0,69 µm] et 3 pour le vert [0,520,60 µm] pour les images 2020 dans l'ordre de mesure des couleurs Rouge, Vert, Bleu. Ceci est suivi d'une explication visuelle et d'une identification des zones de formation. Sur la base de connaissances éprouvée sur le terrain, nous avons choisi une classification supervisée utilisant un algorithme de « maximum de vraisemblance » pour produire des fichiers raster classifiés (Kaboré, 2013) via l'outil « Region of Interest » (ROI) pour sélectionner des zones spécifiques de l'image qui correspondent à nos sites d'étude sur le terrain. Enfin, l'option 'ROI Statistics' a été utilisée pour calculer les statistiques de ces zones et les résultats ont été comparés avec nos observations de terrain pour valider et affiner notre interprétation des images satellitaires. Les valeurs des précisions globales des quatre images prouvent que plus de 96 % des pixels des images ont été classés conformément aux réalités terrain.

2.3.5. Restitution cartographique des classifications

La fusion des résultats des différentes étapes de classification permet de conserver les types d'utilisation des sols pertinents. Le processus de classification permet de générer des statistiques descriptives sur la superficie des différents types d'utilisation des terres pour chacune des quatre dates.

2.4. Analyse des données

1.4.1. Analyse des matrices de transition des unités d'utilisation des sols

Quatre matrices de transition sont obtenues en croisant les cartes d'occupation du sol deux à deux grâce au module Analysis Tools d'ArcGIS 10.8. L'intersection entre les quatre dates a permis d'obtenir les mutations spatiales des classes sur quatre périodes temporelles : 1990-2000, 2000-2010, 2010-2020 et 1990-2020.

1.4.2. Analyse des taux d'expansion spatiale des unités d'utilisation des sols

Le taux d'expansion spatiale annuel moyen des unités au sol de 1990 à 2000 a été calculé à l'aide de l'équation de Bernier (1992) suivante :

$$Tc = \frac{\ln S2 - \ln S1}{(T2 - T1) * \ln e} * 100$$

avec Tc = taux moyen d'évolution annuelle, S_1 = la surface d'une classe d'unité de surface à la date t_1 ; S_2 = la superficie de la même classe d'unité de surface à la date t_2 ; ln = logarithme népérien ; e = la base des logarithmes népériens (e =2,71828). Cela nous a permis d'estimer le pourcentage de progression, de régression ou de stabilité des différentes unités en fonction de leur superficie au sol.

3. Résultats

Les unités d'occupation du sol de la commune, Bobo-Dioulasso, ont été classées en onze catégories : systèmes de parcs, galeries forestières, habitats, plantations forestières, savanes arborées, savanes arbustives et de sols nus.

3.1. Situation en 1990

Les résultats ont permis de comprendre la situation des unités d'occupation du sol en 1990 en termes de superficie, de proportion et de répartition spatiale. Le graphique ci-dessous (Figure 3) indique les proportions des unités d'occupation du sol en 1990.

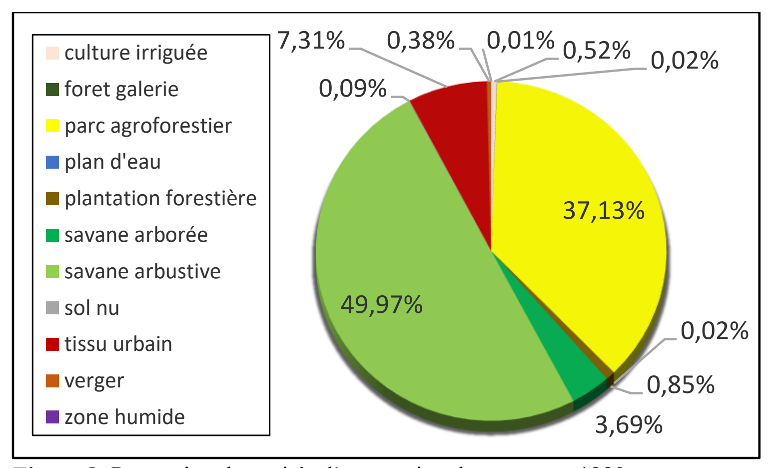


Figure 3. Proportion des unités d'occupation des terres en 1990

Les résultats indiquent que la plus grande proportion était occupée par les savanes arbustives, suivies respectivement des parcs agroforestiers, des savanes arborées, des habitats, des plantations forestières, des forêts galeries, des vergers, des cultures irriguées, des plans d'eau, des sols nus et des zones humides. La carte ci-après montre leur répartition spatiale dans la commune (Figure 4).

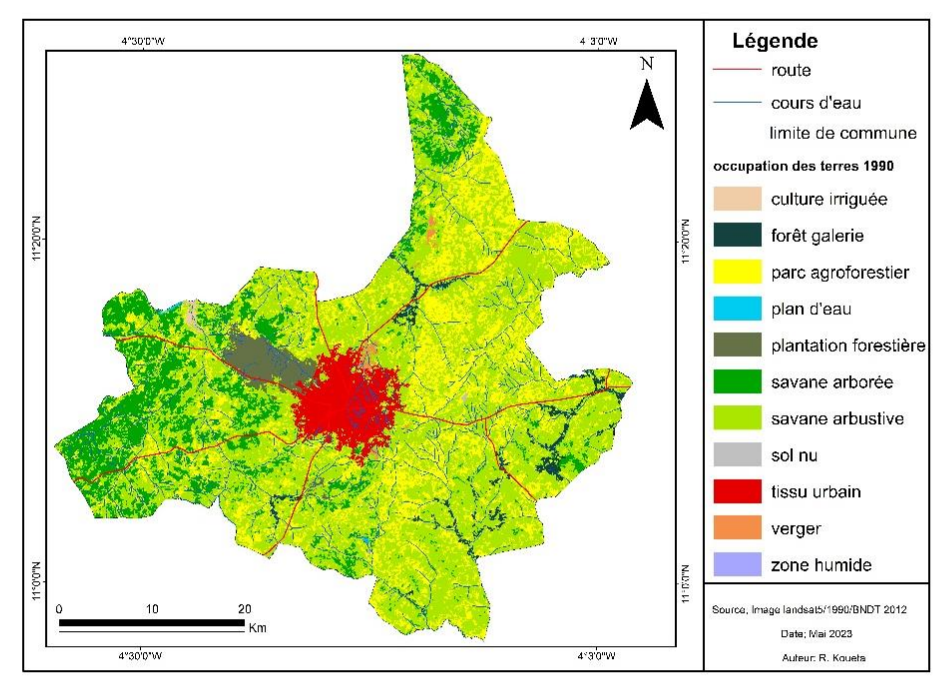


Figure 4. Distribution spatiale des unités d'occupation des terres

L'un des résultats les plus significatifs est la forte expansion des savanes arbustives et des parcs agroforestiers dans l'ensemble de la commune. Ces deux unités paysagères sont réparties presque sur l'ensemble de la commune, tandis que les savanes arborées et les plantations forestières sont majoritairement localisées dans les parties ouest et nord de la commune. Les vergers, quant à eux, étaient plus remarquables dans la partie nord. Par contre, en dépit du tissu urbain, les autres unités sont plus ou moins réparties de façon pêle-mêle.

3.2. Situation en 2000

En 2000, les savanes arbustives occupaient presque la moitié de la commune suivie des parcs agroforestiers et des savanes arborées. Les plantations forestières et les vergers occupaient respectivement 2,31 % et 0,24 % de la zone. Ci-dessous les proportions des unités en 2000 représentées sur le graphique (Figure 5).

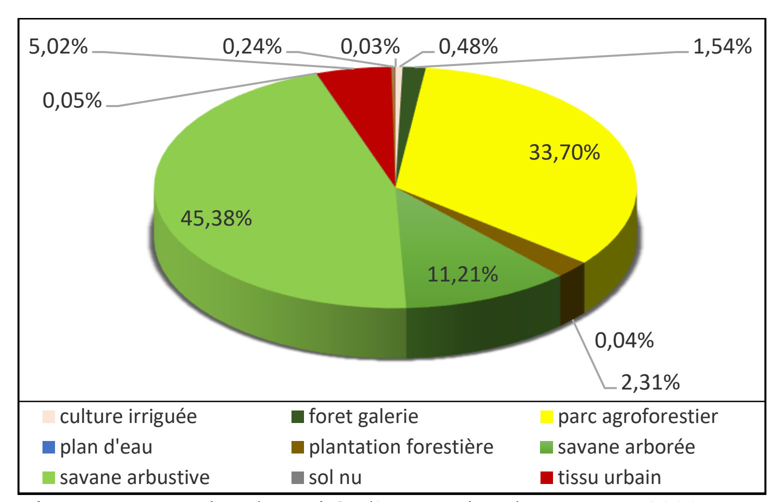


Figure 5. Proportion des unités d'occupation des terres en 2000

Ces résultats suggèrent une distribution spatiale plus ou moins importante au niveau de chaque unité au sol. La carte ci-après permet de comprendre la répartition spatio-temporelle des unités en 2000 (Figure 6).

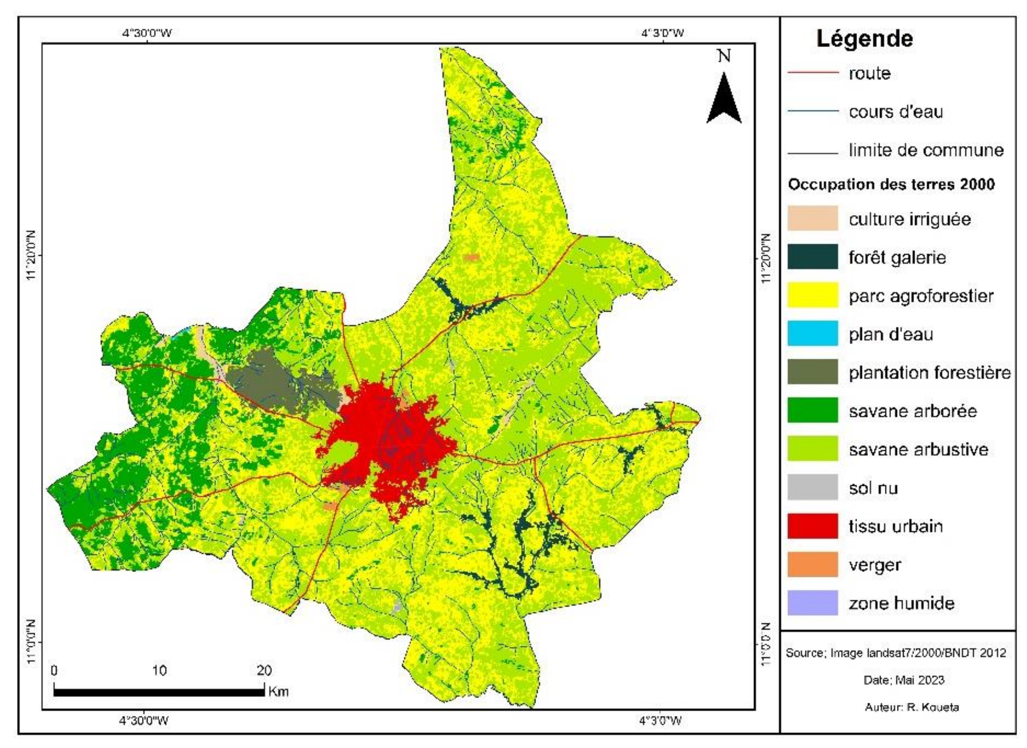


Figure 6. Distribution spatiale des unités d'occupation au sol

La carte des unités au sol en 2000 montre que la répartition spatiale des unités a plus ou moins varié. La plupart des unités restent dans leur aire géographique avec des variations de superficie plus ou moins importantes. Le taux de leur évolution moyenne est défini dans le tableau suivant (tableau 2)

Tableau 2. Évolution moyenne annuelle des unités d'occupation du sol de 1990-2000

Unité d'occupation du sol	Date 1990 (ha)	2000 (ha)	Taux d'évolution moyenne annuelle (%)	Nature
Culture irriguée	303,47	855,30	10,36	Progression
Forêt galerie	2812,96	2734,39	-0,28	Régression
Parc agroforestier	44078,68	59925,09	3,07	Progression
Plan d'eau	115,13	63,08	-6,02	Régression
Plantation forestière	4218,03	4102,70	-0,28	Régression
Savane arborée	23726,24	19937,77	-1,74	Régression
Savane arbustive	93464,73	80699,06	-1,47	Régression
Sol nu	47,07	81,99	5,55	Progression
Tissu urbain	8401,68	8928,81	0,61	Progression
Verger	634,05	426,69	-3,96	Régression
Zone humide	13,14	60,30	15,24	Progression

Le tableau 2 montre que les forêts-galeries, les plans d'eau, les plantations forestières, les savanes arborées, les savanes arbustives et les vergers ont connu une évolution régressive plus ou moins importante, tandis que les cultures irriguées, les parcs agroforestiers, les sols nus, le tissu urbain et les zones humides ont évolué positivement. Les parcs agroforestiers sont passés de 24,79% à 33,70% (8,91%), les plantations forestières de 2,37% à 2,31% (-0,06%), les savanes arborées de 13,34% à 11,21% (-2,13%), les savanes arbustives de 52,56% à 45,38% (-7,18%) et les vergers de 0,36% à 0,24% (-0,12%). Ces évolutions s'expliquent par des implications plus ou moins importantes consignées ci-dessous dans la matrice de transition (tableau 3). Cette matrice de transition a permis de mieux examiner les implications des différents changements des unités qui se sont opérés au cours de la période 1990-2000. Dans les lignes du tableau de la matrice de transition contiennent les unités d'occupation de 1990 qui ont plus ou moins cédé de terrain à d'autres unités et les colonnes montrent les unités d'occupation de 2000 qui en ont gagné. Les superficies de 2000 sont dues aux situations de perte ou de gain de territoires au cours des dix (10) ans. Le tableau de la matrice représente une situation stable, perdante et gagnante.

- Situation stable : elle indique que la superficie d'une unité d'utilisation du sol est restée inchangée de 1990 à 2000. Elle est affichée dans la diagonale du tableau en couleur jaune. Cette situation indique que les unités peuvent conserver au moins une partie de leur superficie d'origine (Tableau 3).

Tableau 3. Matrice de transition des unités d'occupation du sol de 1990-2000

Unités d'occupation du sol	culture irriguée	Foret galerie	parc agroforestier	plan d'eau	plantation forestière	savane arborée	savane arbustive	sol nu	tissu urbain	verger	zone humide	Total 1990
culture irriguée	157,00		96,58	0,45		11,70	37,73					303,47
foret galerie		637,66	896,93		0,09	0,36	1277,92					2812,96
parc agroforestier	185,49	517,32	19129,92	5,58	406,85	2096,96	21271,80	16,74	317,79	112,59	17,64	44078,68
plan d'eau	6,75		12,47	42,42		4,47	49,02					115,13
plantation forestière	37,26		299,88		2917,35	138,06	789,03		36,45			4218,03
savane arborée	35,90	20,74	5407,49	12,38	181,22	10486,34	7469,40		111,24		1,53	23726,24
savane arbustive	402,84	1558,67	33850,43	2,25	597,19	7197,28	48004,24	65,25	1548,72	197,10	40,77	93464,73
sol nu			1,98			1,17	43,92	-				47,07
tissu urbain	30,06		103,50			1,44	1416,51		6814,62	35,55		8401,68
verger			125,01				327,60		99,99	81,45		634,05
zone humide			0,90				11,88				0,36	13,14
Total 2000	855,30	2734,39	59925,09	63,08	4102,70	19937,77	80699,06	81,99	8928,81	426,69	60,30	177815,18

De toutes les unités d'occupation du sol, les savanes arbustives ont conservé la plus importante superficie de 48004,24 ha, tandis que les zones humides ont conservé la plus petite superficie de 0,36 ha. Les résultats indiquent que toutes les unités ont conservé au moins une partie de leur superficie d'origine excepté les sols nus, qui n'ont pu rien conserver.

- Situation perdante : elle fait partie d'une unité de terrain qui a été convertie en une autre unité d'utilisation. Entre 1990 et 2000, les parcs agroforestiers ont cédé 185,49 ; 517,32 ; 5,58 ; 406,85 ; 2096,96 ; 21271,80 ; 16,74 ; 317,79 ; 112,59 ; et 17,64 ha respectivement au profit des cultures irriguées, des forêts-galeries, des plans d'eau, des plantations forestières, des savanes arborées, des savanes arbustives, des sols nus, du tissu urbain, des vergers et des zones humides, soit un total de 24948,76 ha. Les plantations forestières ont cédé 37,26 ha aux cultures irriguées, 299,88 ha aux parcs agroforestiers, 138,06 ha aux savanes arborées, 789,03 ha aux savanes arbustives, 36,45 ha au tissu urbain, soit une perte totale de 1300,68 ha. Les savanes arborées ont cédé 35,90 ha aux cultures irriguées, 20,74 ha aux forêts de galeries, 5407,49 ha aux parcs agroforestiers, 12,38 ha aux plans d'eau, 181,22 ha aux plantations forestières, 7469,40 ha aux savanes arbustives, 111,24 ha aux tissus urbains et 1,53 ha aux zones humides, soit un total de 13239,9 ha. Les savanes arbustives ont perdu 45462,9 ha au total au profit des cultures irriguées (402,24 ha), des forêts galeries (1558,67 ha), des parcs agroforestiers (33850,43 ha), des plans d'eau (5,25 ha), des plantations forestières (597,19 ha), des savanes arborées (7197,28 ha), de sols nus (65,25 ha), du tissu urbain (1548,72 ha), de vergers (197,10 ha) et de zones humides (40,77 ha).

Elles ont cependant conservé 48004,24 ha avec une superficie totale de 93464,73 ha en 2000. Les vergers, quant à eux, ont cédé 1268,1 ha au total au profit des parcs agroforestiers (125,01 ha), 327,60 ha de savanes arbustives et 99,99 ha de tissu urbain pour ne conserver que 81,45 ha avec une superficie totale de 634,05 ha en 1990.

- Situation gagnante : elle montre les zones d'unités augmentées. Cela signifie que certaines unités se sont étendues sur d'autres unités. Les parcs agroforestiers ont gagné 185,49 ha des cultures irriguées, 517,32 ha de forêts-galeries, 5,58 ha de plans d'eau, 406,85 ha de plantations forestières, 2096,96 ha de savanes arborées, 21271,80 ha de savanes arbustives, 16,74 ha de sols nus, 317,79 ha de tissu urbain, 112,59 ha de vergers et 17,64 ha de vergers. Les plantations forestières sont passées de 4218,03 ha à 4102,70 ha. Elles se sont étendues sur 37,26 ha de cultures irriguées, 299,88 ha de parcs agroforestiers, de 138,06 ha de savanes arborées, de 789,03 ha de savanes arbustives, 36,45 ha de tissu urbain.

Quant aux vergers, ils se sont étendus sur environ 550,44 ha au détriment des parcs agroforestiers (317,79), des savanes arbustives (197,10 ha) et du tissu urbain (35,55 ha), conservant 81,45 ha. Les savanes arborées ont gagné 11,70 ha de cultures irriguées, 0,36 ha de forêts-galeries, 2096,96 ha de parcs agroforestiers, 4,47 ha aux plans d'eau, 138,06 ha aux plantations forestières, 7197,28 aux savanes arbustives, 1,17 ha de sols nus et 1,44 ha de tissu urbain. Les savanes arbustives ont copté un total de 32694,81 ha, dont 37,73 ha de culture irriguée, 1277,92 ha de forêt-galerie, 21271,80 ha de parcs agroforestiers, 49,02 ha de plans d'eau, 789,03 ha de plantation forestière, 7469,40 ha de savane arborée, 43,92 ha de sols nus, 1416,51 ha de tissu urbain, 327,60 ha de vergers et 11,88 ha de zone humide.

3.3. Situation en 2010

La situation en 2010 n'a pas connu une très grande variation par rapport à celle de 2000. Les savanes arbustives occupaient la plus grande proportion de l'ensemble des unités d'utilisation au sol (46,63 %) contre 52,56 % en 1990 et 45, 38 % en 2000. La plus petite proportion était occupée par les plans d'eau (0,03 %) contre 0,06 % en 1990 et 0,04 % en 2000. La dynamique des différentes unités au sol s'est opérée soit par régression, soit par progression (Figure 7).

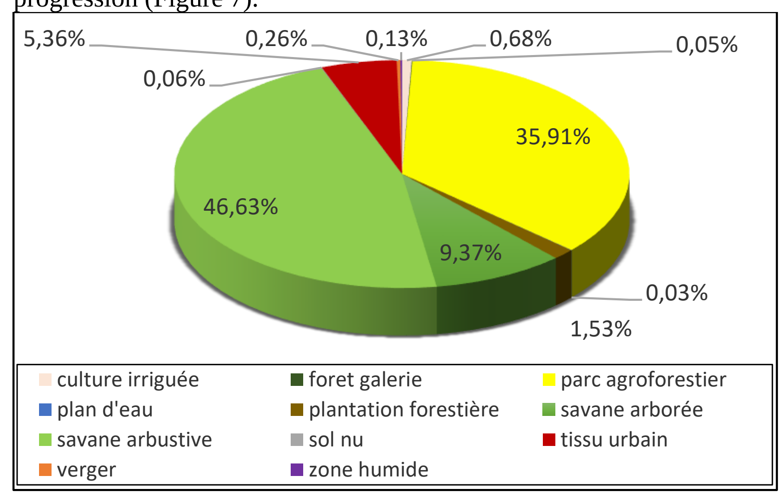


Figure 7. Proportion des unités d'occupation des terres en 2010

Les différentes unités d'utilisation des sols ont connu une expansion spatiale différente au cours de la période 2000-2010 (Tableau 4).

Tableau 4. Taux d'évolution moyenne annuelle entre 2000-2010

Unité d'occupation du sol	Date 2000 (ha)	2010 (ha)	Taux d'évolution moyenne annuelle (%)	Évolution
Culture irriguée	855,30	1208,82	3,46	Progression
Forêt galerie	2734,39	83,18	-34,93	Régression
Parc agroforestier	59925,09	63846,39	0,63	Progression
Plan d'eau	63,08	56,34	-1,13	Régression
Plantation forestière	4102,70	2726,01	-4,09	Régression
Savane arborée	19937,77	16655,12	-1,80	Régression
Savane arbustive	80699,06	82910,68	0,27	Progression
Sol nu	81,99	115,02	3,39	Progression
Tissu urbain	8928,81	9537,48	0,66	Progression
Verger	426,69	453,78	0,62	Progression
Zone humide	60,30	222,36	13,05	Progression

L'analyse du tableau 4 révèle que les forêts-galeries, les plans d'eau, les plantations forestières et les savanes arborées ont connu dans une certaine mesure une régression. De ce fait, on note que les zones humides possédaient le taux d'évolution le plus important en 2010 suivi des cultures irriguées, tandis que le taux de régression le plus important a été enregistré dans les forêts-galeries suivies des plantations forestières. La carte ci-après traduit la répartition spatiale des différentes unités en 2010 (figure 8).

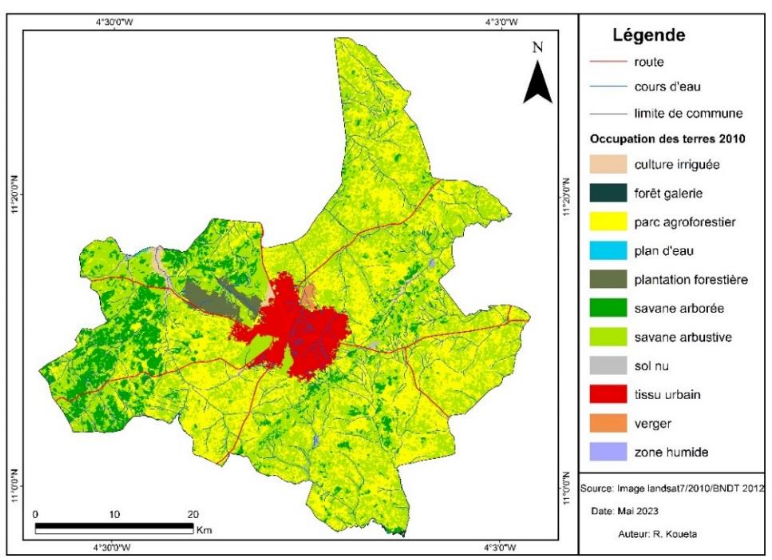


Figure 8. Distribution spatiale des unités d'occupation des terres en 2010

Tout comme en l'an 2000, la plupart des unités restent dans leur aire de distribution spatiale sans une grande variation de superficies. Les changements de l'occupation du sol sont synthétisés dans une matrice de transition issue du croisement des cartes d'occupation du sol de 2000 et 2010 (tableau 5).

Tableau 5. Matrice de transition des unités d'occupation du sol de 2000-2010

Unité d'occupation du sol	culture irriguée	foret galerie	Parc agroforestier	plan d'eau	Plantation forestière	savane arborée	Savane arbustive	sol nu	tissu urbain	verger	zone humide	Total 2000
culture irriguée	431,64		62,91		34,2	24,12	280,02		4,41		18	855,3
foret galerie		16,21	1366,83			54	1297,07	0,27				2734,39
parc agroforestier	359,69	2,7	27568,38	4,94	166,95	3257,65	28168,7		235,89	91,08	69,12	59925,09
plan d'eau	1,35		1,35	40,06			18,61				1,7	63,08
plantation forestière	1,26		145,97		2166,57	310,86	1478,04					4102,7
savane arborée	71,01		2037,84	2,52	38,34	9078,38	8707,97		0,27		1,44	19937,77
savane arbustive	283,57	64,26	32019,97	8,82	316,44	3888,98	41866,23	114,75	1743,57	260,37	132,1	80699,06
sol nu			37,71				44,28					81,99
tissu urbain	60,3		361,8		3,51	37,08	910,26		7534,17	21,69		8928,81
verger			210,15			4,05	112,68		19,17	80,64		426,69
zone humide			33,48				26,82					60,3
Total 2010	1208,82	83,18	63846,39	56,34	2726,01	16655,12	82910,68	115,02	9537,48	453,78	222,36	177815,18

L'examen du tableau 5 montre qu'en 2010, les savanes arbustives ont conservé la plus grande superficie, tandis que la plus faible superficie a été conservée par les forêts-galeries. Les résultats révèlent que les sols nus et les zones humides n'ont rien conservé au cours de cette période, mais ont colonisé d'autres unités paysagères telles que les forêts-galeries et les savanes arbustives pour les sols nus ; et les forêts-galeries, la culture irriguée, les parcs agroforestiers, le plan d'eau, les savanes arborées et les savanes arbustives pour les zones humides. Par ailleurs, on note que de 1990 à 2010, toutes les superficies conservées en 2000 ont connu une modification plus ou moins importante. Par exemple, les savanes arbustives ont régressé de 48004,24 ha en 2000 à 41866,23 ha (superficies conservées en 2000 et 2010).

3.4. Situation en 2020

En 2020, les savanes arbustives avaient la plus grande proportion (49,97 %) suivie des parcs agroforestiers (37,13 %) et des savanes arborées (3,69 %). Les plus faibles proportions ont été observées au niveau des plans d'eau (0,01 %) et des sols nus (0,02 %) (Figure 9).

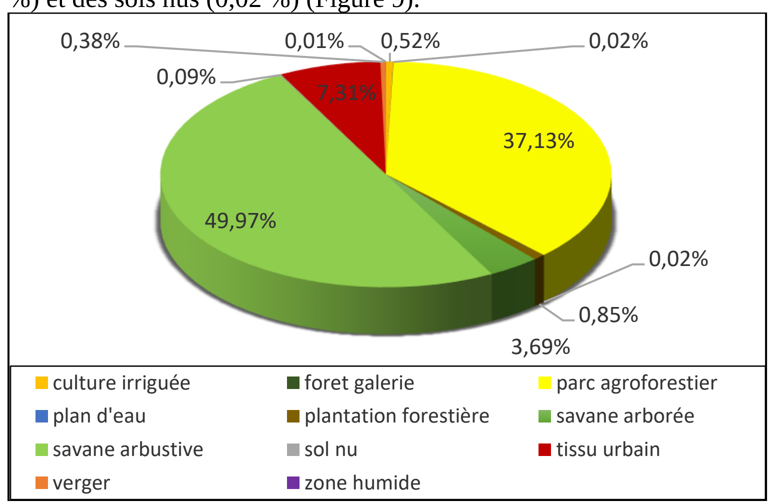


Figure 9. Proportion des unités d'occupation des terres en 2020

A la différence de l'année 1990, les résultats révèlent que la distribution de plusieurs unités au sol a beaucoup varié en 2020. La répartition spatiale des unités en 2020 est traduite par la figure 10

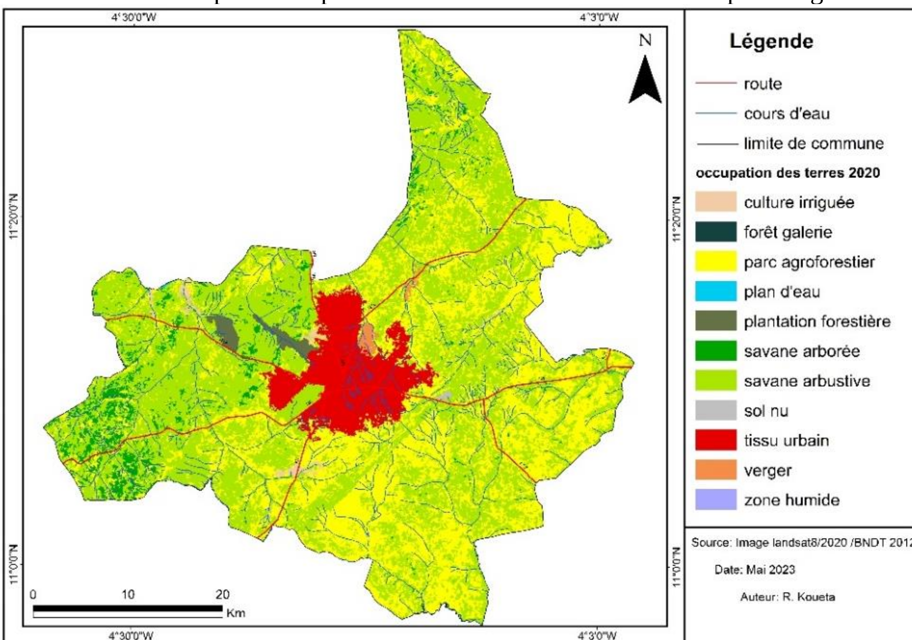


Figure 10. Distribution spatiale des unités d'occupation des terres en 2020

Les unités les plus remarquables sur la carte sont les savanes, les parcs agroforestiers et le tissu urbain. Des unités qui se trouvaient dans certaines zones en 1990 sont quasiment absentes en 2020 dans ces mêmes aires de distribution. C'est le cas des savanes arborées, fortement présentes au nord et à l'est en 1990, mais presque absentes dans

ces aires en 2020. En 2020, les unités d'utilisation des sols ont considérablement changé, soit en augmentant, soit en régressant (tableau 6).

Tableau 6. Taux d'évolution moyenne annuelle entre 2010-2020

Unité d'occupation du sol	Date 2010 (ha)	2020 (ha)	Taux d'évolution moyenne annuelle (%)	Nature
Culture irriguée	1208,82	919,68	-2,73	Régression
Forêt galerie	83,18	44,09	-6,35	Régression
Parc agroforestier	63846,39	66025,25	0,34	Progression
Plan d'eau	56,34	31,45	-5,83	Régression
Plantation forestière	2726,01	1506,10	-5,93	Régression
Savane arborée	16655,12	6561,39	-9,32	Régression
Savane arbustive	82910,68	88859,07	0,69	Progression
Sol nu	115,02	167,17	3,74	Progression
Tissu urbain	9537,48	13000,86	3,10	Progression
Verger	453,78	680,04	4,05	Progression
Zone humide	222,36	20,08	-24,05	Régression

L'analyse du Tableau 6 révèle que les zones humides possédaient le taux de régression le plus important en 2020, alors que le taux de progression le plus important était obtenu par les vergers. Les cartes ci-après montrent le degré d'expansion spatiale des différentes unités de 1990 à 2020 (Figure 11).

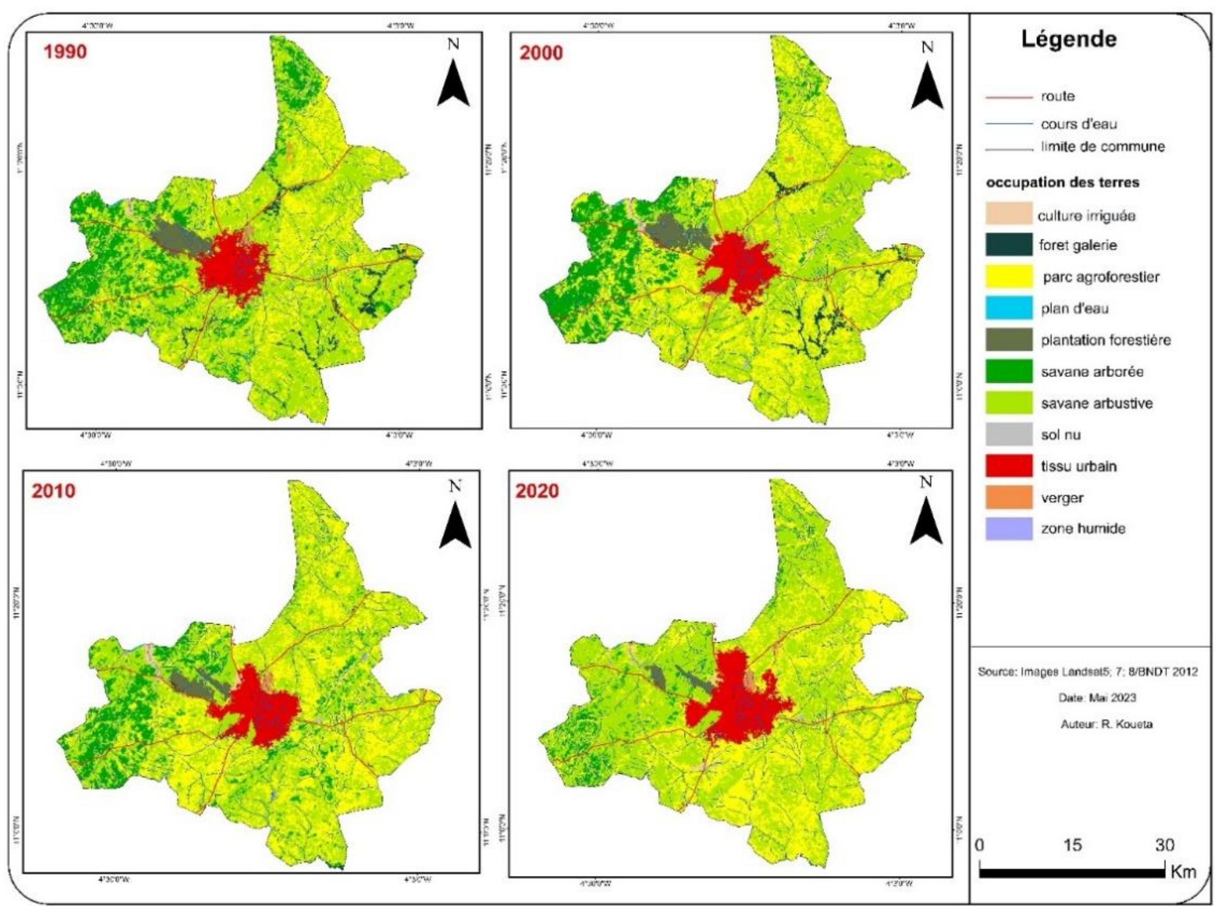


Figure 11. Distribution spatiale des unités d'occupation des terres

Les différentes implications qui peuvent expliquer la répartition des différentes unités au sol sont représentées dans le tableau 7.

Tableau 7. Matrice de transition de 2010 à2020

Unité d'occupation du sol	culture irriguée	foret galerie	parc agroforestier	plan d'eau	plantation forestière	savane arborée	savane arbustive	sol nu	tissu urbain	verger	zone humide	Total 2010
culture irriguée	293,1		332,34	0,9	34,65	5,67	452,79		89,37			1208,82
foret galerie			8,71			3,15	71,32					83,18
parc agroforestier	309,42	9,36	28785,78		22,36	703,15	32458,04	5,24	1467,54	84,96	0,54	63846,39
plan d'eau			13,03	26,28		4,17	12,86					56,34
plantation forestière	9,63		83,88		1147,8	175,77	1308,39		0,54			2726,01
savane arborée	15,75		3557,31	0	54,75	3369,43	9644,11	0,63	13,14			16655,12
savane arbustive	276,12	34,73	32562,14	4,26	243,21	2294,96	44704,02	79,88	2495,97	205,92	9,48	82910,68
sol nu			1,26				32,33	81,43				115,02
tissu urbain	0,09		462,69		3,33		131,76		8923,23	16,38		9537,48
verger			45,09				24,84		11,07	372,78		453,78
zone humide	15,57		173,03			5,09	18,61				10,06	222,36
Total 2020	919,68	44,09	66025,25	31,45	1506,1	6561,39	88859,07	167,17	13000,86	680,04	20,08	177815,18

3.5. Situation entre 1990-2020

De 1990 en passant par 2000, 2010 jusqu'en 2020, de nombreux changements ont été opérés dans l'utilisation des unités au sol. Les résultats de la matrice de transition ont permis de mieux examiner ces divers changements et expansions de 1990 à 2020. En effet, les plus grands changements ont été observés au niveau des cultures irriguées, qui sont passées de 3030,47 ha à 918,78 ha, des forêts-galeries (2812,96 ha à 44,09 ha), des plans d'eau (de 115,13 ha à 31,45 ha), des plantations forestières (de 4218,03 à 1506,1 ha) et des savanes arborées (de 23726,24 ha à 6561,39 ha). Ci-dessous le tableau de la matrice de transition de 1990 à 2020 (tableau 8).

Tableau 8. Matrice de transition de 1990 à 2020

Unité d'occupation du sol	culture irriguée	foret galerie	parc agroforestier	plan d'eau	plantation forestière	savane arborée	savane arbustive	sol nu	tissu urbain	verger	zone humide	Total 1990
culture irriguée	129,78		70,37	3,06		1,26	99					303,47
foret galerie	1,71		1198,51			13,19	1512,16	3,42		83,97		2812,96
parc agroforestier	120,24	11,76	19476,45	0,9	35,51	561,73	22423,36	16,25	1379,97	42,39	10,12	44078,68
plan d'eau	7,56		59,12	24,55		5,02	18,88					115,13
plantation forestière	56,7		261,18		1189,75	326,07	2323,67		60,66			4218,03
savane arborée	60,71	6,51	5379,57	2,04	84,72	3440,88	14570,19	1,3	179,01		1,31	23726,24
savane arbustive	504,91	25,82	38972,29	0,9	168,94	2204,69	46891,39	143,5	4302,99	242,55	6,74	93464,73
sol nu			4,77				39,6	2,7				47,07
tissu urbain	38,07		436,41		27,18	2,79	828,54		6988,32	80,37		8401,68
verger			155,34			5,76	152,28		89,91	230,76		634,05
zone humide			11,23								1,91	13,14
Total 2020	919,68	44,09	66025,25	31,45	1506,1	6561,39	88859,07	167,17	13000,86	680,04	20,08	177815,18

L'examen du tableau 8 montre qu'entre 1990 et 2020, les changements les plus importants ont été observés dans les cultures irriguées, les forêts-galeries, les plans d'eau, les plantations forestières et les savanes arborées. Les cultures irriguées ont presque triplé au cours de cette période, tandis que les autres cultures ont diminué jusqu'à un quart. Les parcs agroforestiers, les savanes arbustives, les sols nus, le tissu urbain, les vergers et les zones humides ont connu une évolution moyenne. Les résultats montrent qu'en 2020, les savanes arbustives avaient pu conserver la plus grande superficie, tandis que la plus petite superficie était conservée par les zones humides. En effet, la plus grande superficie en 2020 était détenue par les savanes arbustives (88859,07 ha) suivies des parcs agroforestiers (66025,25 ha), alors que la plus petite était détenue par les zones humides (20,08 ha). Le tableau 9 illustre l'évolution moyenne annuelle des unités d'occupation au sol de 1990-2020.

Revue Ecosystèmes et Paysages, 2024, 4 (1) : 1-20
https://lbev-univlome.com/revue-ecosysteme-et-paysage/
ISSN Online: 2790-3230

Tableau 9. Évolution moyenne annuelle des unités d'occupation au sol de 1990-2020

Unité d'occupation du sol	Date 1990 (ha)	2020 (ha)	Taux d'évolution moyenne annuelle (%)	Nature
Culture irriguée	303,47	919,68	11,09	Progression
Forêt galerie	2812,96	44,09	-41,56	Régression
Parc agroforestier	44078,68	66025,25	4,04	Progression
Plan d'eau	115,13	31,45	-12,98	Régression
Plantation forestière	4218,03	1506,10	-10,30	Régression
Savane arborée	23726,24	6561,39	-12,85	Régression
Savane arbustive	93464,73	88859,07	-0,51	Régression
Sol nu	47,07	167,17	12,67	Progression
Tissu urbain	8401,68	13000,86	4,37	Progression
Verger	634,05	680,04	0,70	Progression
Zone humide	13,14	20,08	4,24	Progression

Le tableau 9 révèle qu'en 2020, six unités au sol ont évolué positivement, alors que cinq ont connu une régression plus ou moins importante. La plus forte expansion a été obtenue dans les sols nus, tandis que la plus faible a été obtenue dans les forêts-galeries. Le taux d'expansion des différentes unités est représenté sur la figure 12.

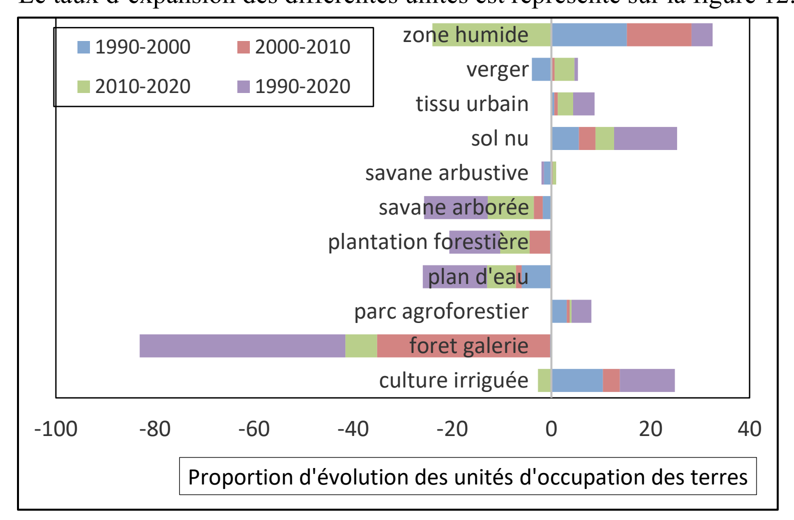


Figure 12. Évolution moyenne des unités d'occupation des terres entre 1990 et 2020

L'analyse de la figure ci-après révèle que de 1990 à 2000, l'évolution moyenne des unités était positive, tandis que de 2000 à 2020, leur évolution moyenne est restée négative (Figure 13).

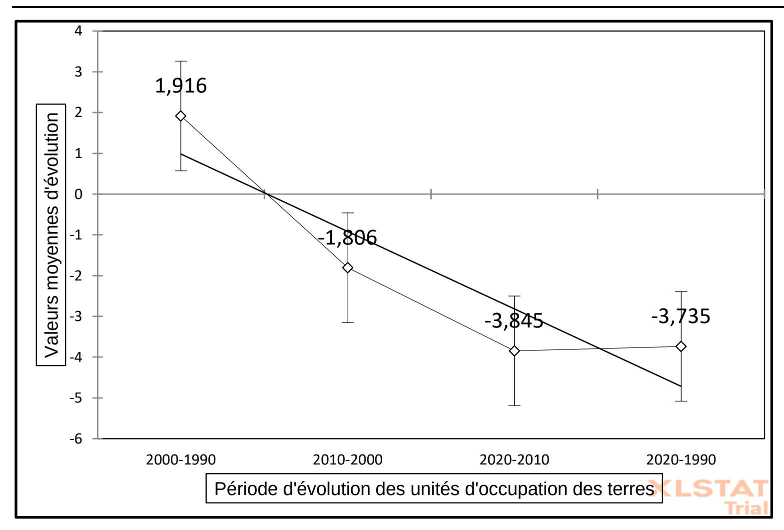


Figure 13. Courbe de l'évolution moyenne des unités d'occupation du sol

En termes de corrélation, les unités au sol de la décennie 2020-2010 et la période 2020-1990 sont presque corrélées (Tableau 10).

Tableau 10. Matrice de corrélation de l'évolution moyenne des unités d'occupation du sol

	Occupation 1990-2000	Occupation 2000-2010	Occupation 2010-2020	Occupation 1990-2020	Y
Occupation 1990-2000	1	-0,333	-0,333	-0,333	0,204
Occupation 2000-2010	-0,333	1	-0,333	-0,333	0,003
Occupation 2010-2020	-0,333	-0,333	1	-0,333	-0,107
Occupation 1990-2020	-0,333	-0,333	-0,333	1	-0,101
Y	0,204	0,003	-0,107	-0,101	1

4. Discussion

De 1990 en passant par 2000, 2010 jusqu'en 2020, de nombreux changements ont été opérés dans l'utilisation des unités au sol dans la commune de Bobo-Dioulasso.

4.1. En 1990

Les savanes arbustives représentaient la plus grande proportion, suivies des parcs agroforestiers et des savanes arborées. Cette situation des unités en 1990 serait en partie le résultat des sécheresses de 1970-1980 et 1980-1990 (Dai et al., 2004; Alhassane et al., 2013) et des actions anthropiques. En fait, le Sahel était modérément arrosé entre 1960 et 1970. Cependant, depuis 1970, la région a connu des événements climatiques extrêmes qui ont affecté négativement de nombreuses ressources naturelles, notamment les ressources en eau, en terres et en savanes. Cela a beaucoup contribué à la modification du paysage agraire. Les résultats révèlent aussi que les savanes arborées, les plantations forestières et les vergers étaient fortement représentés dans les parties ouest et nord de la commune. Cette forte présence dans l'ouest de la commune des savanes arborées et plantations forestières en 1990 suggèrerait l'impact de la naissance de nombreux projets (UNSO, Bois du village, Foyers améliorés, etc.) de reboisement et de protection des forêts en état de dégradation. En effet, les crises de sécheresse de 1970 à 1984 au sahel avaient conduit l'État burkinabè à prendre des mesures de restauration de certains milieux dégradés. De nombreuses campagnes de reboisement à l'époque avaient été réalisées dans les champs et les forêts de Dinderesso et Kou par le biais des services techniques de l'environnement, faisant de ces milieux des espaces bien fournis en bois en 1990.

4.2. Entre 1990 et 2020

Les résultats ont montré une régression importante des forêts-galeries, des plans d'eau, des plantations forestières, des savanes arborées et des savanes arbustives, tandis que les cultures irriguées, les parcs agroforestiers, les sols nus, le tissu urbain, les

vergers et les zones humides ont progressivement évolué. Cela pourrait être dû à l'accroissement de la population et à ses besoins vitaux, principalement énergétiques et agricoles (Koueta, 2020) qui se seraient produits avec une dégradation des savanes à travers la coupe abusive du bois vert. À cela s'ajouterait l'impact des changements climatiques, quoi que cela soit très insignifiant dans la zone de Bobo-Dioulasso à cause des hauteurs pluviométriques qui y sont enregistrées (900-1100 mm d'eau par an depuis 1990), n'en demeure qu'ils aient une influence sur le milieu biophysique. Aussi, le fait que les sols soient en pleine dégradation suite aux mauvaises pratiques agricoles, aux changements climatiques relativement liés aux fortes canicules enregistrées au mois de mars et avril, et à l'augmentation rapide des populations rurales, même si depuis 1990 la tendance s'est inversée par rapport à celle de 1960-1989, les producteurs est amené parfois à défricher de nouveaux champs agricoles. La conséquence d'une telle pratique entraine l'expansion des champs et la dégradation des savanes. Ces résultats sont proches de ceux de Mamane et al. (2018) dans le parc W du Niger, qui ont trouvé que les formations forestières laissaient place de plus en plus aux formations anthropisées (champs, jachères anciennes et récentes, sol nu et Koris). Les mêmes tendances ont été observées dans les travaux de Sawadogo et al. (2008) à Ziga dans le Yatenga au Burkina Faso, de Moussa et al. (2011) sur un bassin-versant endoréique sahélien, de Gasmi et al. (2017) dans le bassin versant de l'oued chiba (cap-bon, tunisie), de Mamane et al. (2018) dans la zone soudanienne au nord du Bénin, de Sanou et al. (2022) dans la zone pastorale au sud de Gaongo au Burkina, de Tapsoba et al. (2023) à la périphérie du barrage de bagré au Burkina Faso, qui ont trouvé que la dégradation du couvert biophysique engendrée par la surexploitation des ressources naturelles se faisait au profit des parcs agroforestiers et des habitats en général. Ces résultats montrent clairement que le contexte d'évolution des unités paysagères décrit par Hien et al. (1996) n'a pas du tout changé à la date d'aujourd'hui, mais au contraire s'est aggravé. Par conséquent, la régression considérable de certaines ressources naturelles, notamment les savanes arborées et arbustives, ainsi que les plantations forestières et les ressources en eau aurait impacté négativement sur la fertilité des terres et les conditions pluviométriques de la zone. Cela aurait favorisé une baisse considérable des rendements agricoles dans les dernières décennies dans la commune.

Par ailleurs, l'augmentation des cultures irriguées en 2020 dans la commune serait le résultat de l'adoption de la loi semencière de 2006 et des politiques agricoles de 2008 à l'échelle du pays ; dont l'accent a été essentiellement mis sur la production du riz et du maïs. Cela a suscité l'aménagement et la construction de nombreuses infrastructures hydroagricoles dans les régions des Hauts-Bassins, de la Boucle du Mouhoun, etc. En effet, entre 2015 et 2020, les superficies de nouveaux bas-fonds aménagés dans le pays sont passées de 4035 à 5 020,4 ha et les superficies de nouveaux périmètres irrigués aménagés sont passées de 3318 à 1 087,4 ha (MAAH/DGESS, 2021). Selon le MAAH (2021), la superficie emblavée de riz des plaines et bas-fonds aménagés dans la province du Houet est passée de 2 724 à 4 144 ha entre 2011 et 2019. L'augmentation de ces superficies emblavées dans la province justifierait l'augmentation des superficies des cultures irriguées en 2020 dans la commune.

4.3. Perspectives de l'analyse de l'occupation des sols dans la commune

Pour l'avenir, l'analyse de l'occupation des sols peut être développée dans plusieurs domaines clés afin d'améliorer une compréhension aisée des changements d'utilisation des sols. L'un de ces domaines est le développement de modèles plus sophistiqués pour prédire les changements d'utilisation des sols d'ici à 2050, en tenant compte de facteurs tels que l'augmentation des savanes, des plantations agroforestières, des parcs agroforestiers, des vergers et des habitats. En développant ces modèles de manière précise et fiable, il sera possible de mieux anticiper et gérer les changements d'affectation des sols pour d'éventuels aménagements dans la commune, d'autant que l'an 2050 a été défini comme horizon de la planification par la communauté scientifique dans le cadre de l'aménagement du territoire.

5. Conclusion

En conclusion, l'analyse de l'occupation spatiale des sols dans la commune de Bobo-Dioulasso de 1990 à 2020 a fourni des informations capitales sur les défis auxquels est confrontée la commune. Elle a révélé un développement important des savanes arbustives, des parcs agroforestiers, du tissu urbain et une régression importante des savanes arborées, des plantations forestières et des plans d'eau au cours des dernières décennies, avec des implications anthropiques et environnementales. Les projets de développement rural et les décideurs politiques doivent tenir compte de ces facteurs lorsqu'ils élaborent des politiques et des stratégies d'aménagement et de gestion durable des terres. Les recherches futures devraient se concentrer sur le développement de nouvelles méthodes d'analyse des changements d'utilisation des sols à des échelles spatiales plus fines, et sur la compréhension des facteurs sociaux et économiques à l'origine des changements d'utilisation des sols.

Remerciement

Nous remercions le Ministère en charge de l'environnement, particulièrement l'Observatoire Nationale du Développement Durable (ONDD) pour avoir mis gratuitement à notre disposition les images satellitaires.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Koueta T. Roland
Gestion des données	Koueta T. Roland
Analyse formelle	Koueta T. Roland
Enquête et investigation	Koueta T. Roland
Méthodologie	Koueta T. Roland, Nakoulma Goama et Gomgnimbou P. K. Alain
Supervision Validation	Nakoulma Goama et Gomgnimbou P. K. Alain
Écriture – Préparation	Koueta T. Roland, Nakoulma Goama, Gomgnimbou P. K. Alain, Dao A. Zezouma et Guelbeogo Sidiki
Écriture – Révision	Koueta T. Roland, Nakoulma Goama, Gomgnimbou P. K. Alain, Dao A. Zezouma, et Guelbeogo Sidiki

Références

Alhassane, A., Salack, S., Ly, M., Lona, I., Traoré, S. B., & Sarr, B. (2013). Évolution des risques agroclimatiques associés aux tendances récentes du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Sécheresse, 24(4), 282 293.

Bebbington, A., & Carney, J. (1990). Geography in the International Agricultural Research Centers: Theoretical and Practical Concerns. Annals of the Association of American Geographers, 80(1), 34 48.

Berger, F., & Kane, M. (2023). Le trafic illicite de produits médicaux en Afrique de l'Ouest. 33.

Bertrand, G. (1972). La "science du paysage", une "science diagonale". Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 43(2), 127 134. https://doi.org/10.3406/rgpso.1972.3323

Bertrand, G., & Dollfus, O. (1973). Le Paysage Et Son Concept. L'Espace géographique, 2(3), 161 163.

Bertrand, G., & Dollfus, O. (1973). Le Paysage Et Son Concept. L'Espace géographique, 2(3), 161 163.

Bertrand, G., & Tricart, J. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Revue Géo-graphique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 39(3), 249 272. https://doi.org/10.3406/rgpso.1964.4776

Bodéré, J.-C., Cribb, R., Curr, R., Davies, P., Hallégouët, B., Meur-Férec, C., Piriou, N., Williams, A. T., & Yoni, C. (1991). La gestion des milieux dunaires littoraux. Evolution de leur vulnérabilité à partir d'une liste de contrôle. Etude de cas dans le sud du Pays de Galles et en Bretagne occidentale. Norois, 151(1), 279 298. https://doi.org/10.3406/noroi.1991.6371

Bonnemaison, J. (1974). Espaces et paysages agraires dans le nord des Nouvelles-Hébrides. L'exemple des îles d'Aoba et de Maewo (étude de géographie agraire) (1ère partie). Journal de la Société des Océanistes, 30(44), 163 232.

Boulanouar, A., Moudnib, L. E., Harnafi, M., Cherkaoui, T.-E., Rahmouni, A., Boukalouch, M., & Sebbani, J. (2013). Spatial variation of coda wave attenuation using aftershocks of the Al Hoceima earthquake of 24 Febru-ary, 2004, Morocco. Natural Science, 05(08), 72 77. https://doi.org/10.4236/ns.2013.58A1009

Boutrais, J. (1878). Les milieux naturels et l'occupation du sol. 38.

Brandt, R., Ditlov, V., Firu, E., Ganssauge, E., Haiduc, M., Hashemi-Nezhad, R., Neagu, A. T., & Westmeier, W. (2018). Comment on the Recent Start of a New "IUPAC-Project". World Journal of Nuclear Science and Technol-ogy, 08(03), 121 127. https://doi.org/10.4236/wjnst.2018.83010

Brunet, M. (1999). Le paysage agraire de Délos dans l'Antiquité. Journal des savants, 1(1), 1 50.

Caillault, S. (2011). Le feu, la brousse et la savane. Modélisation spatiale de la dynamique des paysages souda-niens (Burkina Faso) [PhD Thesis, Université de Caen]. https://hal.univ-brest.fr/tel-00625721v1

Chalaye, S. (2003). Situmem : Choeur à cœur et corps à corps. Africultures, 4, 213 214.

Cheverry, C. (2006). Agriculture intensive et qualité des eaux. 1 314.

Corgne, S. (2004). Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif Application à la couverture hivernale des sols en Bretagne [PhD Thesis, Université Rennes 2]. https://theses.hal.science/docs/00/04/32/15/PDF/corgne-these04Final.pdf

Croix, N. (1993). Des systèmes d'exploitation agricole aux systèmes d'exploitation rurale. Cahiers de Fontenay, 12(1), 47 54.

Croix, N. (1996). Des terroirs aux territoires : Géographies agraire, agricole, rurale et... géographie. Cahiers Nantais, 44(1), 197 206. https://doi.org/10.3406/canan.1996.1655

Dai, A., Lamb, P. J., Trenberth, K. E., Hulme, M., Jones, P. D., & Xie, P. (2004). The recent Sahel drought is real. International Journal of Climatology, 24(11), 1323 1331. https://doi.org/10.1002/joc.1083

Davranche, A., & Taïbi, A. N. (2015). Les changements d'occupation et d'usage du sol, des processus multidimen-sionnels complexes qui affectent la biodiversité. In M. R & G. L (Éds.), Pour une géographie de la conservation. L'Harmattan. https://hal.science/hal-01226543

De Wispelaere, G. (1990). Dynamique de la désertification au Sahel du Burkina Faso : Cartographie de l'évolution et recherches méthodologiques sur les applications de la télédétection [PhD Thesis, CNAM]. https://agritrop.cirad.fr/336199/

Diédhiou, I., Mering, C., Sy, O., & Sané, T. (2020). Cartographier par télédétection l'occupation du sol et ses chan-gements. EchoGéo, 54, Article 54. https://doi.org/10.4000/echogeo.20510

Douessin, R. (1974). Géographie agraire des plaines de Tananarive. Madagascar: Revue de Géographie, 25, 9 156.

Folega F, Atakpama W, Pereki H, Diwediga B, Novotny IP, Dray A, Garcia C, Wala K, Batawila K, Akpagana K. Geo-Based Assessment of Vegetation Health Related to Agroecological Practices in the Southeast of Togo. Applied Sciences. 2023; 13(16):9106. https://doi.org/10.3390/app13169106

Fossier, R. (1979). Etapes de l'aménagement du paysage agraire au pays de Montreuil. Actes des congrès de la Société des historiens médiévistes de l'enseignement supérieur public, 10(1), 97 116.

Gansaonré, R. N. (2018). Dynamique du couvert végétal et implications socio-environnementales à la périphérie du parc W/Burkina Faso. VertigO, 18(1). https://www.erudit.org/en/journals/vertigo/1900-v1-n1-vertigo04481/1058441ar/abstract/

Gasmi, A., Masse, A., Ducrot, D., & Zouari, H. (2017). Télédétection et photogrammétrie pour l'étude de la dyna-mique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'oued Chiba (Cap-Bon, Tunisie). Revue Française de Pho-togrammétrie et de Télédétection, 215, Article 215. https://doi.org/10.52638/rfpt.2017.344

Gebhardt, A. (1996). Fossés parcellaires et micromorphologie des sols : Une aide à l'interprétation d'un paysage agraire. ABACO Edizioni. https://hal.science/hal-02275723/document

Gond, V. (1999). Contribution des donnees NOAA-AVHRR à la caractérisation des savanes africaines [PhD The-sis, En vue de l'obtention du Doctorat de l'Universite Toulouse le Mirail]. https://shs.hal.science/tel-01239710/

Guittet, C., & Le Dû-Blayo, L. (2013). Les photographies du paysage : Quelles analyses des dynamiques paysa-gères ? Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace, 9, Article 9. https://doi.org/10.4000/paysage.12477

Hamouda, S., & Tahar, A. (2012). Apport de l'analyse spatiale dans le suivi du couvert végétal du parc national d'El-Kala, (Algérie). Synthèse : Revue Des Sciences et de La Technologie, 25, 59 70.

Hauchart, V. (2005). Culture du coton et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso) [PhD Thesis, Reims]. https://www.theses.fr/2005REIML008

Hien, F., Compaore, J. A., & Coulibaly-Some, O. (1996). La dynamique de la dégradation des sols dans le bassin du Nakambé : Une étude diachronique dans le secteur des forêts classées de Bissiga-Nakabé au Burkina Faso. Monitoring soils in the environment with remote sensing and GIS. Paris : Orstom éditions, 523 530.

Hoang, K. H., Bernier, M., & Villeneuve, J.-P. (2009). Les changements de l'occupation du sol dans le bassin ver-sant de la rivière CÂU (VIÊT-NAM). Télédétection, 8(4), 227 236.

Houet, T. (2006). Occupation des sols et gestion de l'eau : Modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet) [PhD Thesis, Université Rennes 2]. https://theses.hal.science/tel-00389835/

Hountondji, Y.-C. H. (2008). Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Belgique : Université de Liège, 152.

Kaboré O. (2013) : Dynamique de l'utilisation des terres dans les écosystèmes de savane et systèmes agraires du bassin versant de la Kompienga (Burkina Faso) [Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Département de Géographie],281.

Khreim, J.-F. (1995). Caractérisation et suivi par télédétection spatiale de la végétation et de l'occupation des terres en région méditerranéenne : Possibilités et limites à travers le cas de la Syrie maritime [Thèse de doctorat, Aix-Marseille 3]. https://www.theses.fr/1995AIX30019

Kombienou, P. D., & Dossa, A. B. K. (2021). Dégradation physique des sols et la pression sur les ressources fores-tières dans le Nord-Ouest de l'Atakora au Bénin.

Koueta T. R. (2020). Impacts environnementaux de la consommation du bois-énergie dans les périphéries de la ville de Bobo-Dioulasso [mémoire de Master, Université Joseph Ki-ZERBO, Département de Géographie],112.

Kpedenou, K. D., Drabo, O., Ouoba, A. P., Da, D. C. E., & Tchamie, T. T. K. (2017). Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire Ouatchi au sud-est Togo entre 1958 et 2015. Cahiers du cer-leshs, 31(55), 203 228.

Le Drezen, Y., & Ballouche, A. (2009). Dynamiques récentes des paysages végétaux en domaine soudano-sahélien. L'exemple de la moyenne vallée du Yamé (Ounjoungou, Pays Dogon, Mali) (Recent dynamics of the vegetation landscapes in the Sudano-Sahelian zone : The Middle Yamé River valley, Ounjoungou, Dogon Coun-try, Mali). Bulletin de l'Association de Géographes Français, 86(1), 46 65. https://doi.org/10.3406/bagf.2009.2653

Liehoun-Botoni, E., Kara, A., Augusseau, X., Cornelius, M., Saidi, S., & Daget, P. (2003). Evolutions agraires et construction des paysages végétaux.

MAAH/DGESS. (2021). Annuaire des statistiques agricoles 2020 (p. 437). MAAH/DGESS.

Mama, A., Sinsin, B., Cannière, C. D., & Bogaert, J. (2013). Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. 11.

Mamane, B., Amadou, G., Barage, M., Comby, J., & Ambouta, J. M. K. (2018). Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Ouest du Niger). International journal of biological and chemical sciences, 12(4), 1667 1687.

Millogo, D., Nikiema, A., Koulibaly, B., & Zombre, N. (2018). Analyse de l'évolution de l'occupation des terres à partir de photographies aériennes de la localité de Loaga dans la province du Bam, Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11, 2133. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.16

Moussa, I., Descroix, L., Laurent, J.-P., Vauclin, M., Amogu, O., Boubkraoui, S., Ibrahim, B., Galle, S., Cappelaere, B., Bousquet, S., Mama-dou, I., Breton, E. L., Lebel, T., Quantin, G., Ramier, D., & Boulain, N. (2011). Les chan-gements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin-versant endoréique sahé-lien. Science et changements planétaires / Sécheresse, 424 425, 1. https://doi.org/10.1684/sec.2011.0297

Nakoulma, G. A. (1998). Enjeux fonciers, production agricole et état nutritionnel des populations rurales dans le centre du Burkina Faso. Fondation pour l'Éducation et la Recherche en Allergologie et Immunologie. [Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Départe-ment de Géographie], 417.

Ouédraogo, M., & Dakouo, D. (2017). Evaluation de l'adoption des variétés de riz NERICA dans l'Ouest du Burki-na Faso. African Journal of Agricultural and Resource Economics, 12(311-2017-726), 1-16.

Sanou, L., Tenkodogo, P., Sanon, Z., Ouedraogo, S., & Bismarck, H. (2022). Dynamique spatio-temporelle des ressources pastorales au Bur-kina Faso : Cas de la zone pastorale au Sud de Gaongo Spatio-temporal dynamics of pastoral resources in Burkina Faso: case study of the South Gaongo pastoral zone. 21.

Sawadogo, H., Zombre, N. P., Bock, L., & Lacroix, D. (2008). Evolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Ya-tenga (Burkina Faso) à partir de photographies aériennes. Teledetection, 8(1), 59.

Tapsoba, A., Kokou, K., & Sanou, Z. (2023). Dynamique spatiale d'occupation du sol à la périphérie du barrage de bagré au Burkina Faso. 17.

Tatar, H. (2013). Transformations foncières et évolution des paysages agraires en Algérie. Méditerranée : Revue géographique des pays médi-terranéens, n. 120, 37 46.

Wiederkehr, E. (2012). Apport de la géomatique pour une caractérisation physique multi-échelle des réseaux hy-drographiques. Elaboration d'indicateurs appliqués au bassin du Rhône. [PhD Thesis, Lyon, École normale supé-rieure]. https://www.theses.fr/2012ENSL0787

Zida, W. A. (2020). Dynamique du couvert végétal forestier des agrosystèmes sahéliens du nord du Burkina Faso après les sécheresses des années 1970-1980 : Implication des pratiques d'aménagement des terres [Université du Québec à Montréal]. https://archi-pel.uqam.ca/13705/